

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**



⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 195 02 624 A 1

⑯ Int. Cl. 8:
G 03 F 7/20
G 03 F 1/00

DE 195 02 624 A 1

⑯ Aktenzeichen: 195 02 624.1
⑯ Anmeldetag: 19. 1. 95
⑯ Offenlegungstag: 25. 7. 96

⑯ Anmelder:
Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin
GmbH, 10587 Berlin, DE

⑯ Vertreter:
K. Wolff und Kollegen, 10117 Berlin

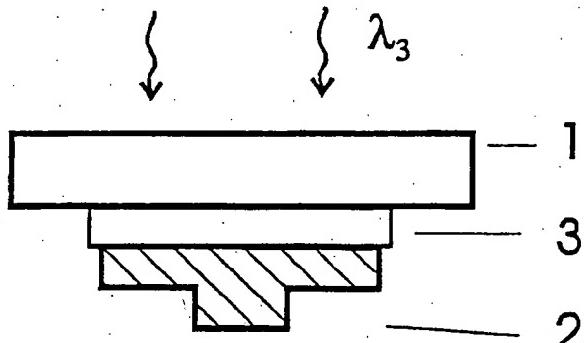
⑯ Erfinder:
Pawlowski, Edgar, Dipl.-Phys., 10627 Berlin, DE

⑯ Maske zur 3D-Strukturierung und Verfahren zu ihrer Herstellung

⑯ Es ist eine flexibel ihrem Verwendungszweck im Aufbau
anpaßbare Maske zur 3-D-Strukturierung, die eine weitere
Verringerung der Auflösungsgrenze der zu erzeugenden
Strukturen gewährleisten soll, und ein Verfahren zu deren
Herstellung anzugeben.

Eine Maske zur 3-D-Strukturierung ist als dreidimensionale
Amplituden- und/oder Phasenmaske ausgebildet. Auf einem
Maskenträger (1) ist mindestens eine dünne absorptive
Schicht (2) und/oder mindestens eine dünne transparente
Schicht (3) angeordnet, und mindestens die oberste Schicht
ist dreidimensional strukturiert. Durch die Beeinflussung der
Lichtamplitude und/oder Phase ist die dreidimensionale
Maskenstruktur in das zu strukturierende Substrat optisch
übertragbar.

Herstellung von 3-D-Strukturen kleiner Abmessungen in der
Mikroelektronik, Mikromechanik und Mikrooptik.



DE 195 02 624 A 1

Beschreibung

Die Erfindung geht aus von einer Maske zur 3D-Strukturierung, die eine Vielschichtstruktur aufweist, und einem Verfahren zu ihrer Herstellung.

Die Entwicklung in den letzten Jahren auf den Gebieten Mikroelektronik, Mikromechanik und Mikrooptik erfordert die Herstellung von 3D-Strukturen mit immer kleineren Abmessungen.

Bei dem 3D-Strukturieren mit Mehrfachmasken, wie in OPTICAL ENGINEERING, Nov. 1994, Vol. 33, No. 11, pp. 3537 beschrieben, bei dem bis zu 32 unterschiedliche, der konkreten Struktur des optischen Bauelements immer weiter angenäherte Maskenniveaus erzeugt werden, erweisen sich die Verfahren für die Maskenherstellung bzw. für die Übertragung der Maskenstruktur in das zu strukturierende Substrat als zum Teil sehr aufwendig und komplex. Weniger aufwendig sind Verfahren, um 3D-Strukturen mit Grautonmasken herzustellen. Zu den Grauton-Masken gehören konventionell photographisch hergestellte Filme oder Diapositive. In APPLIED OPTICS, 1 October 1990, Vol. 29, No. 28, pp. 4260 ist die Herstellung einer Photomaske mit einem stufenähnlichen Muster beschrieben, deren Grauskala transparent bis undurchlässig ist. Bei Chrommasken, die ebenfalls den Grauton-Masken zugeordnet werden, wird die Transparenzänderung durch die Variation von Mikrolöchern und deren konkrete Anordnung erreicht (Proc. of Micro System Technologies, pp. 209, 1994; Microelectronic Engineering 23 (1994), pp. 449). Nachteilig bei den mittels Grautonmasken erzeugten 3D-Strukturen ist die technologisch bedingte untere Auflösungsgrenze (0,5 bis 1 µm) der zu erzeugenden Strukturen und die hohe Oberflächenrauhigkeit (> 20 nm) zu nennen.

In US 4 890 319 ist eine Lithographie-Maske mit einer Schicht für eine π -Phasenverschiebung dargestellt, bei der auf einer Membran ein Dämpfungsgitter – die eigentliche Röntgenstrahlmaske – angeordnet ist und die Phasenverschiebung erzeugt, die einen wesentlich schärferen Intensitätsverlauf als bei bisher üblichen Röntgenstrahlmasken garantiert. Das ermöglicht einerseits einen größeren Abstand zwischen dem Dämpfungsgitter und der Registrierebene bei einer gegebenen minimalen Linienbreite bzw. andererseits bei einem gegebenen Abstand die Erzeugung von kleineren minimalen Linienbreiten. Gleichzeitig ist in o.g. US-Patentschrift in Analogie zu der beschriebenen Lösung eine Maske für optische und UV-Strahlung beschrieben, bei der auf einem transparenten Substrat ein Dämpfungsgitter angeordnet ist, bei dem Material und Dicke des Gitters so auszuwählen sind, daß eine definierte Phasenverschiebung realisierbar ist.

Die Erfindung geht von dem in IEDM Tech. Digest, 1989, pp. 57 beschriebenen Stand der Technik aus. Danach weist eine Maske eine einfache Vielschichtstruktur auf, bei der ein Photolackgitter phasenverzögernd wirkt, das auf einer Cr-Maske und diese auf einem transparenten Träger angeordnet ist. Die Fläche des die einzelnen Cr-Masken-Punkte bedeckenden Photolacks ist dabei größer als die Flächen dieser Punkte.

Die Phasenmasken gestatten zwar eine weniger verschliffene Übertragung ihrer Struktur auf das zu strukturierende Substrat, jedoch können mit diesen einfachen Masken keine 3D-Strukturen übertragen werden. Außerdem ist die Größe der zu übertragenden Strukturen mittels Photomasken auf kleine Abmessungen beschränkt, da für die optische Übertragung der Masken-

struktur in das Substrat Kanteneffekte (und in deren Folge Interferenz) maßgeblich sind, die aber bei größeren Strukturen nicht auftreten.

Die Herstellung bekannter Vielschichtstrukturen erfolgt mit Dünnschichttechniken. Schwierig gestaltet sich hierbei die Kontrolle der optischen Eigenschaften der aufwachsenden Schichten. Deshalb ist es notwendig, geeignete Maßnahmen zur Messung der optischen Eigenschaften der Schichten während des Aufbringens zu ergreifen. In APPLIED OPTICS, Vol. 18, No. 22, pp. 3851 ist eine in situ-Meßmethode beschrieben, mit der die Herstellung einer dielektrischen Vielschichtstruktur überwacht und die optischen Eigenschaften (Transmission) in situ gemessen werden. Auch in Le Vide, le Couches Minces-Supplément au n° 259 (Nov. — Dec. 1991), pp. 44 wird über die genaue Kontrolle der optischen Dicke der Schichten mittels in situ-Meßmethoden während der Herstellung von Vielschichtstrukturen mittels Ionenstrahlputtern (Ion Beam Sputter Deposition — IBSD) berichtet.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine flexibel ihrem Verwendungszweck im Aufbau anpaßbare Maske zur 3D-Strukturierung, die eine weitere Verringerung der Auflösungsgrenze der zu erzeugenden Strukturen gewährleisten soll, und ein Verfahren zu deren Herstellung, das technologisch gut realisierbare und handhabbare Prozeßschritte enthält, anzugeben.

Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, daß eine Maske zur 3D-Strukturierung der eingangs erwähnten Art als dreidimensionale Amplituden- und/oder Phasenmaske ausgebildet und die Maskenstruktur durch Beeinflussung der Lichtamplitude und/oder der Phase in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist.

In einer Ausgestaltung ist vorgesehen, daß auf einem Maskenträger mindestens eine dünne absorptive Schicht und/oder mindestens eine dünne transparente Schicht angeordnet und mindestens die oberste, d. h. die vom Maskenträger entfernte, Schicht dreidimensional strukturiert ist.

In einer Ausgestaltung der Erfindung sind auf einem Maskenträger eine transparente Schicht und eine dreidimensional strukturierte absorptive Schicht angeordnet, und die Maskenstruktur ist mit nur einer Belichtungswellenlänge durch Beeinflussung sowohl der Lichtamplitude in der absorptiven Schicht als auch der Phase in der transparenten Schicht in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar. Hierbei ist technologisch einfacher realisierbar, die absorptive Schicht auf der auf dem Maskenträger angeordneten transparenten Schicht aufzubringen und zu strukturieren.

In einer anderen Ausgestaltung ist auf dem Maskenträger eine dreidimensional mikrostrukturierte Schicht angeordnet, und die Maskenstruktur ist mit mindestens zwei unterschiedlichen Belichtungswellenlängen, die die Beeinflussung sowohl der Phase als auch der Amplitude bei Durchgang durch die Schicht garantieren, auf das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar. Somit ist die eine Wellenlänge so groß, daß die Schicht für diese Belichtungswellenlänge transparent, und die andere so groß, daß sie für diese absorptiv ist.

Eine weitere Ausgestaltung sieht vor, daß auf einem Maskenträger mehrere absorptive und mehrere transparente Schichten angeordnet sind und die Maskenstruktur durch Beeinflussung sowohl der Lichtamplitude in den absorptiven Schichten als auch der Phase in den transparenten Schichten mit mehreren dem Material der Schichten entsprechenden Belichtungswellenlängen

gen optisch übertragbar ist. Die Verwendung von mehreren Materialien und Wellenlängen gestattet die Schaffung einer Maske mit vielseitigen Optimierungsmöglichkeiten. Die optische Übertragungsfunktion läßt sich zwar auch hier exakt berechnen, diese Rechnungen können aber sehr komplex werden, hinzu kommt der komplizierte Herstellungsprozeß, während dessen der Brechungsindex der Schichten und deren Dicke bei verschiedenen Wellenlängen in situ kontrolliert werden müssen.

Die erfundungsgemäße Lösung gestattet auch die – besonders hinsichtlich ihrer einfachen Herstellung – vorteilhafte Ausgestaltung der Schichtfolge sowohl als Amplitudenmaske, bei der auf einem Maskenträger eine dreidimensional mikrostrukturierte absorptive Schicht angeordnet und die Struktur der Amplitudenmaske mit einer Belichtungswellenlänge in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist, als auch als Phasenmaske, bei der auf einem Maskenträger eine dreidimensional mikrostrukturierte transparente Schicht angeordnet ist, und die optische Übertragung der Maskenstruktur in das Substrat mit einer dafür entsprechenden Belichtungswellenlänge erfolgt.

Die erfundungsgemäße Lösung ermöglicht erst die 3D-Strukturierung mittels Amplituden-/Phasenmaske und gestattet durch die Möglichkeit der Kombination von absorptiven und transparenten Schichten in der Anordnung einer Amplituden-/Phasenmaske oder einer "reinen" Amplituden- oder Phasenmaske und durch die Wahl und Verwendung von den optischen Eigenschaften der Schichten entsprechenden Belichtungswellenlängen eine effektive Anpassung der Masken und optische Übertragung der Maskenstruktur für einen breiten Anwendungsbereich der mit der erfundungsgemäßen Maske herzustellenden 3D-Strukturen bei gleichzeitiger Verbesserung der unteren Auflösungsgrenze auf kleiner 0,2 µm.

Die Funktion der erfundungsgemäßen Maske zur 3D-Strukturierung beruht auf der Änderung der Amplitude und der Phase beim Durchgang des Lichtes, das zur Übertragung in die photosensitive Schicht auf dem Substrat verwendet wird, durch die absorptiven und/oder transparenten Schichten. Die Belichtungswellenlängen werden in Abhängigkeit sowohl von den benutzten Materialien für die absorptiven und transparenten Schichten als auch vom Material der photosensitiven Schicht, des Substrats und der herzustellenden Strukturgröße gewählt. Um Nanostrukturen übertragen zu können, müssen sehr kurze Wellenlängen (z. B. UV/VUV und Röntgenstrahlung) benutzt werden, da die minimale Strukturgröße, die übertragen werden kann, direkt proportional zur Belichtungswellenlänge ist. Die Transmission der Schichten hängt vom Brechungsindex der Schicht und von deren Dicke ab und kann exakt berechnet werden.

Als absorptive Schichten sind dielektrische Schichten wie TiO_2 , SiO_2 , SiO_x oder auch Halbleiter- und Metallschichten geeignet. Das absorbierende Material soll unempfindlich gegen Reinigungsmaterialien und Umwelt-einflüsse und langlebig gegenüber den benutzten Belichtungswellenlängen sein. Der optische Strukturübertragungsprozeß mittels einer Amplitudenmaske liefert in der Substratebene, bedingt durch die Fraunhofersche Beugung an den Kanten, einen recht "verschliffenen" Intensitätsverlauf. Die Übertragungsgüte hängt hier sowohl von der Belichtungswellenlänge und der lateralen Strukturbreite als auch von der Strukturgröße ab. Bei der Phasenmaske wird die Lichtphase so beeinflußt, daß

die Intensität in der Substratebene entsprechend der Maskenstruktur moduliert wird. Hierfür wird ein transparentes Maskenmaterial benötigt. Bei gleichem Material wie bei der Amplitudenmaske muß für die Wirkung als Phasenmaske die Belichtungswellenlänge dahingehend geändert werden, daß dieses Material für die konkrete Wellenlänge transparent ist und phasenverzögernd wirkt. Die Phasenverzögerung hängt von dem optischen Wegunterschied zwischen den einzelnen Schichten und der Luft ab. Da der Intensitätsverlauf in der Substratebene weniger "verschliffen" ist als bei der Amplitudenmaske, wird die Übertragungsgüte bei kleinen Strukturgrößen verbessert.

Die flexibelste Maskenstruktur kann durch Kombination von Amplituden- und Phasenmaske realisiert werden, die die Vorteile sowohl der Amplituden- als auch der Phasenmaske in sich vereinigt, und durch die Anordnung – in Material und Schichtdicke – definierter Schichtfolgen auf einem Maskenträger der zu erzeugenden Struktur angepaßt werden.

Der Maskenträger weist eine optische Ebenheit von $<\lambda/2$ und einen geringen thermischen Ausdehnungskoeffizienten auf und kann aus Quarzglas gebildet sein.

Die Dicke der absorptiven und transparenten Schichten liegt etwa zwischen 1 nm und 1 µm.

Die Belichtungswellenlänge ist von bereits genannten Faktoren abhängig und zwischen üblichen Wellenlängen der Röntgenstrahlung und 800 nm wählbar.

Die erfundungsgemäße Maske zur 3D-Strukturierung kann sowohl in Projektions- als auch in Kontaktlithographie verwendet werden. Die Funktion der Maske – Änderung der Lichtamplitude und der Phase – ist bei kohärenter und nichtkohärenter Beleuchtung gegeben. Geeignete Materialien für die photosensitive Schicht, die auf dem zu strukturierenden Substrat angeordnet ist, und für das Substrat selbst sowie geeignete Herstellungsprozesse für diese Schichtstruktur und optische Strukturübertragungsprozesse von der Maske in das Substrat sind aus der Mikroelektronik bekannt, wobei die zur Strukturübertragung verwendete Belichtungswellenlänge jeweils den für die Funktion der erfundungsgemäßen Amplituden-/Phasenmaske absorptiven oder transparenten Schichten und der zu übertragenden Strukturgröße angepaßt ist. Nach der Belichtung wird die photosensitive Schicht geätzt oder entwickelt und die Strukturen anschließend mit geeigneten Ätzmethoden, z. B. IBE – Ion Beam Etching –, RIE – Reactive Ion Etching –, in das Substrat übertragen.

Die Herstellung der Amplituden-/Phasenmaske zur 3D-Strukturierung erfolgt erfundungsgemäß dadurch, daß auf einem Maskenträger mindestens eine dünne absorptive Schicht und/oder mindestens eine dünne transparente Schicht bei gleichzeitiger Messung der Schichtparameter aufgebracht werden und mindestens die oberste Schicht dreidimensional strukturiert wird.

Vorteilhafte Ausgestaltungen sehen vor, daß das Aufbringen der absorptiven und transparenten Schichten mittels Sputtern bzw. mittels Aufdampfens erfolgt und während des Aufbringens die Dicke der Schichten gemessen und die Transmission mit Hilfe der Matrizenmethode exakt berechnet wird bzw. die Transmission in situ gemessen wird.

In einer weiteren Ausgestaltung erfolgt die dreidimensionale Strukturierung mindestens der obersten Schicht mittels Mehrfachmaskenprinzips, bei dem zunächst der Maskenträger mit einem Photolack beschichtet, die Struktur der ersten binären Maske in diesen übertragen und entwickelt wird. Anschließend wird

auf die strukturierte Schichtfolge in einem anisotropen Beschichtungsprozeß eine absorptive oder transparente Schicht aufgebracht und der Photolack in einem Lift-off-Prozeß entfernt. Die genannten Verfahrensschritte werden so oft wiederholt, bis die gewünschte Stufenzahl erreicht ist. Der Aufwand für die Herstellung der Maske ist zwar relativ groß, hinsichtlich ihrer Wiederverwendbarkeit jedoch akzeptabel.

Die Strukturierung mindestens der obersten Schicht kann in einer anderen Ausgestaltung mittels Direktsstrukturierungstechniken, z. B. Ionenstrahlschreiben, erfolgen. Bei diesen Techniken entfallen zwar sehr viele Prozeßschritte, jedoch ist die Schreibzeit sehr lang und damit der Herstellungsprozeß entsprechend teuer. Kosten und Aufwand sind daher in jedem konkreten Fall abzuwegen.

Das erfundungsgemäße Verfahren gestattet, die Herstellung von Amplituden-/Phasenmasken zur 3D-Strukturierung so zu optimieren, daß die Anordnung der absorptiven und transparenten Schichten für die konkrete Funktion der Maske angepaßt werden kann bei gleichzeitiger günstigster — bzgl. des technischen Aufwandes und der Kosten — Kombination der bereits beschriebenen Verfahrensschritte.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben.

Es zeigen

Fig. 1 bis 3 schematisch eine Amplitudenmaske und die entsprechenden Feldstärke- und Intensitätsverläufe in der Masken- und Substratebene bei der optischen Übertragung der Maskenstruktur mit einer Belichtungswellenlänge;

Fig. 4 bis 6 schematisch eine Phasenmaske und die entsprechenden Feldstärke- und Intensitätsverläufe in der Masken- und Substratebene bei der optischen Übertragung der Maskenstruktur mit einer Belichtungswellenlänge;

Fig. 7 bis 9 schematisch eine Amplituden-Phasenmaske aus einem absorptiven und einem transparenten Material und die entsprechenden Feldstärke- und Intensitätsverläufe in der Masken- und Substratebene bei der optischen Übertragung der Maskenstruktur mit einer Belichtungswellenlänge;

Fig. 10 bis 12 schematisch eine Amplituden-/Phasenmaske aus einem Material, bei der die Übertragung der Maskenstruktur mit einer ersten Belichtungswellenlänge erfolgt, für die es absorbierend ist, und mit einer zweiten Belichtungswellenlänge, für die das Material transparent ist, und die entsprechende Feldstärke- und Intensitätsverläufe in der Masken- und Substratebene bei der optischen Übertragung der Maskenstruktur;

Fig. 13 den Transmissionsverlauf einer SiO_x -Schicht für verschiedene Dicken in Abhängigkeit von der Wellenlänge;

Fig. 14 schematisch den Herstellungsprozeß einer 3D-Amplitudenmaske, bei dem ein Mehrfachmaskenprinzip angewendet wird.

In Fig. 1 ist eine Amplitudenmaske, bestehend aus einem Maskenträger 1 und einer darauf angeordneten strukturierten absorptiven Schicht 2 dargestellt. Beim Durchgang des Lichtes mit der Wellenlänge λ_1 , während des Strukturübertragungsprozesses durch die absorptive Schicht 2 wird seine Amplitude geändert. Fig. 2 zeigt den Verlauf der elektrischen Feldstärke E in der Maskenebene und Fig. 3 den Verlauf der Intensität I ($I \sim E^2$) auf dem zu strukturierenden Substrat.

Die in Fig. 4 schematisch dargestellte Phasenmaske,

bei der auf einem Maskenträger 1 eine strukturierte transparente Schicht 3 angeordnet ist, deren Struktur mit Licht der Wellenlänge λ_2 auf das Substrat übertragen wird, liefert in der Substratebene einen weniger verschliffenen Verlauf der Intensität I — wie aus Fig. 6 ersichtlich — als eine Amplitudenmaske. Durch die bei Durchgang des Lichtes durch die transparente Schicht 3 entstehende Phasenverzögerung kann die elektrische Feldstärke in der Maskenebene auch negative Werte — vgl. Fig. 5 — annehmen.

Beim Übertragen der Amplituden-/Phasenmaske mit einer Belichtungswellenlänge λ_3 müssen mindestens zwei Schichten aus verschiedenen Materialien, d. h. eine transparente Schicht 3 und eine absorptive Schicht 2, auf einem Maskenträger 1 — wie in Fig. 7 dargestellt — angeordnet sein. Durch die Phasenmaske wird die Lichtphase so beeinflußt, daß der in der Substratebene vorhandene Verlauf der Intensität I — vgl. Fig. 9 — die Übertragungsgüte verbessert. Die Amplitudenmaske moduliert die Intensität in der Substratebene entsprechend der Maskenstruktur. Fig. 8 zeigt den entsprechenden Verlauf der elektrischen Feldstärke E in der Maskenebene.

Ein Vorteil bei der Verwendung von mindestens zwei Wellenlängen λ_a und λ_t ist die große Flexibilität beim Belichtungsprozeß. Durch die zweite Wellenlänge kann die optimale Belichtungsintensität sehr flexibel eingestellt werden. Deshalb kann relativ einfach mit einem Bias gearbeitet werden, der über die Wellenlänge und die Intensität eingestellt wird. Außerdem ist in diesem Fall — wie in Fig. 10 dargestellt — notwendigerweise nur eine Schicht 4 auf dem Maskenträger 1 angeordnet, die für λ_a absorbierend, für λ_t transparent wirkt. Die entsprechenden Feldstärken- E und Intensitätsverläufe I in der Masken- und Substratebene sind in den Fig. 11 und 12 abgebildet. Die Belichtung mit λ_a und λ_t kann gleichzeitig (mit nur einer Lichtquelle) oder zu unterschiedlichen Zeitpunkten (Übertragungsparameter exakt bestimmbar) erfolgen.

Die Transmission T einer geeigneten Maskenschicht — hier SiO_x — in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ ist für verschiedene Dicken in Fig. 13 dargestellt. Für kurze Wellenlängen erhält man eine hohe Absorption (Belichtungswellenlänge $\lambda_a <$ Schwellwellenlänge λ_s), d. h. das Material ist in diesem Wellenlängenbereich geeignet für die Amplitudenmaske. Bei $\lambda_t > \lambda_s$ ist dasselbe Material für eine Phasenmaske geeignet.

Fig. 14 zeigt einzelne Verfahrensschritte zur Herstellung einer 3D-Amplitudenmaske mittels Mehrfachmaskenprinzips. Das Profil der gewünschten Maskenstruktur wird mit Hilfe von L-Stufen angenähert. Es werden M computergenerierte elektronenstrahlgeschriebene binäre Masken 6_i ($i = 1, \dots, M$) benötigt, um L^M Stufen zu erzeugen.

Folgende Zustände des Herstellungsprozesses sind dargestellt:

- Der Maskenträger 1 ist mit einer Photolackschicht 5 beschichtet.

- Die Struktur der ersten Maske 6_1 wird in die Photolackschicht 5 mittels UV-Belichtung übertragen und anschließend die Schicht 5 entwickelt. Es wird hierbei ein "Image-Reversal"-Prozeß benutzt.

- Die strukturierte Probe ist in einem anisotropen Beschichtungsprozeß — z. B. IBSD — mit einer absorptiven Schicht 2 bedeckt worden. Auswahlkriterium für das Material ist die Wellenlänge, bei der die semitransparente Amplitudenmaske be-

nutzt werden soll.

4. Die Photolackschicht ist in einem Lift-off-Prozeß, z. B. in einem Acetonbad, entfernt worden.

Die Prozeßschritte werden wiederholt bis 5
20. eine 32stufige Struktur vorliegt.

Patentansprüche

1. Maske zur 3D-Strukturierung, bestehend aus einer Vielschichtstruktur, dadurch gekennzeichnet, daß die Maske als dreidimensionale Amplituden- und/oder Phasenmaske ausgebildet und die Maskenstruktur durch Beeinflussung der Lichtamplitude und/oder der Phase in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist. 10

2. Maske nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger (1) mindestens eine dünne transparente Schicht (3) und/oder mindestens eine dünne absorptive Schicht (2) angeordnet und mindestens die oberste Schicht dreidimensional strukturiert ist. 20

3. Maske nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger (1) eine transparente Schicht (3) und eine absorptive Schicht (2) angeordnet sind und die Maskenstruktur mit nur einer Belichtungswellenlänge durch Beeinflussung sowohl der Lichtamplitude in der absorptiven Schicht (2) als auch der Phase in der transparenten Schicht (3) in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist. 30

4. Maske nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger (1) eine mikrostrukturierte Schicht (4) angeordnet ist und die Maskenstruktur mit mindestens zwei unterschiedlichen Belichtungswellenlängen (λ_a, λ_t) auf das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist. 35

5. Maske nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Belichtungswellenlänge so groß ist, daß die Schicht für diese Wellenlänge absorptiv ist, und mindestens eine weitere Belichtungswellenlänge so groß ist, daß die Schicht für diese Wellenlänge transparent ist. 40

6. Maske nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger mehrere absorptive und mehrere transparente Schichten angeordnet sind und die Maskenstruktur durch Beeinflussung sowohl der Lichtamplitude in den absorptiven Schichten als auch der Phase in den transparenten Schichten mit mehreren dem Material der Schichten entsprechenden Belichtungswellenlängen optisch übertragbar ist. 45

7. Maske nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger (1) eine dreidimensional mikrostrukturierte absorptive Schicht (2) angeordnet und die Schichtfolge als Amplitudenmaske ausgebildet ist und daß die Struktur der Amplitudenmaske mit einer Belichtungswellenlänge (λ_s) in das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist. 55

8. Maske nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger (1) eine dreidimensional mikrostrukturierte transparente Schicht (3) angeordnet ist und daß die Struktur der Phasenmaske mit einer Belichtungswellenlänge (λ_2) auf das zu strukturierende Substrat optisch übertragbar ist. 65

9. Verfahren zur Herstellung von Masken zur

3D-Strukturierung gemäß Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß auf einem Maskenträger (1) mindestens eine dünne absorptive Schicht (2) und/oder mindestens eine dünne transparente Schicht (3) aufgebracht werden bei gleichzeitiger Messung der Schichtparameter und mindestens die oberste Schicht dreidimensional strukturiert wird.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen der absorptiven und transparenten Schichten (2, 3) mittels Sputtern erfolgt.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Aufbringen der absorptiven und transparenten Schichten (2, 3) mittels Aufdampfens erfolgt.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke der Schichten während des Aufbringens gemessen und die Transmission mit Hilfe der Matrizenmethode exakt berechnet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Transmission der Schichten während des Aufbringens in situ gemessen wird.

14. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die dreidimensionale Strukturierung mindestens der obersten Schicht mittels Mehrfachmaskenprinzips erfolgt, bei dem zunächst der Maskenträger (1) mit einem Photolack (5) beschichtet, die Struktur der ersten Maske (6₁) in diesen übertragen und entwickelt wird, anschließend auf die strukturierte Schichtfolge in einem anisotropen Beschichtungsprozeß eine absorptive (2) oder transparente Schicht (3) aufgebracht und der Photolack (5) in einem Lift-off-Prozeß entfernt wird und die genannten Verfahrensschritte wiederholt werden, bis die gewünschte Stufenzahl erreicht ist.

15. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die dreidimensionale Strukturierung mindestens der obersten Schicht mittels Direktsstrukturierungstechniken erfolgt.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen



Fig. 1

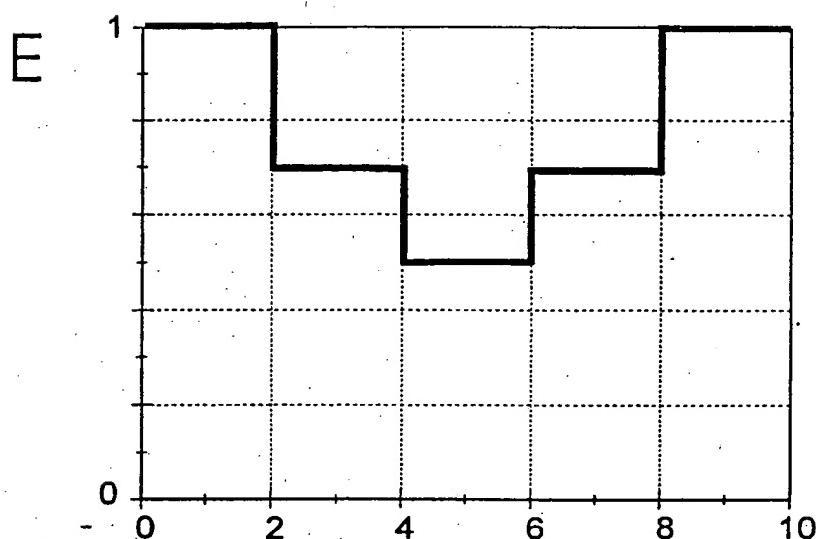
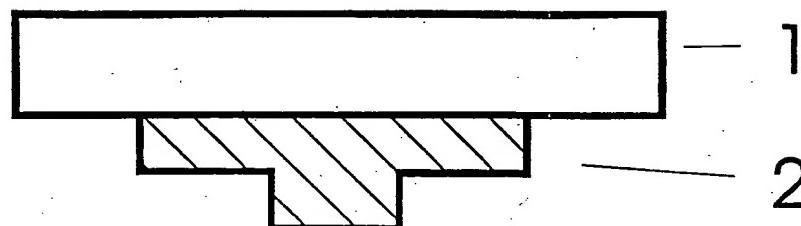


Fig. 2

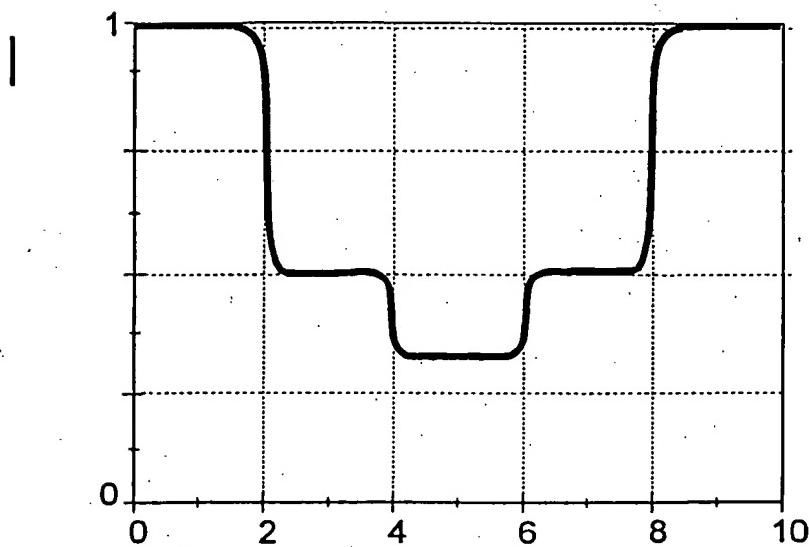


Fig. 3



Fig. 4

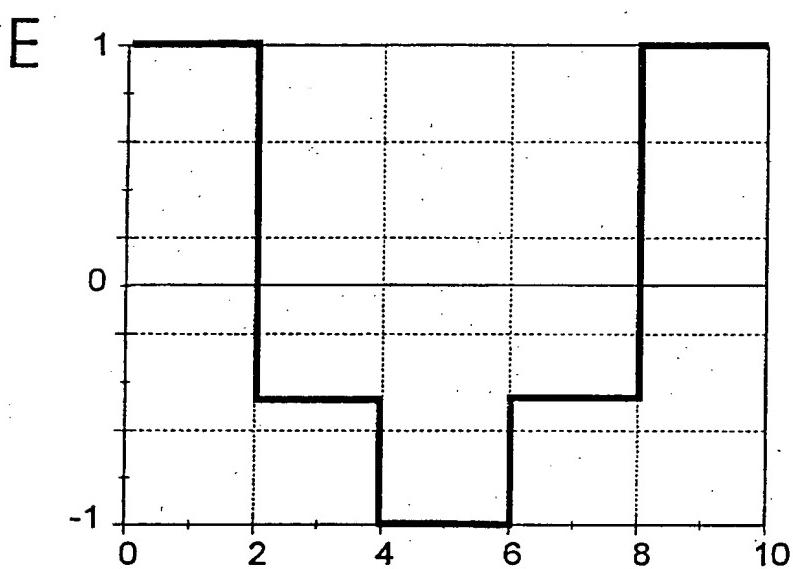


Fig. 5

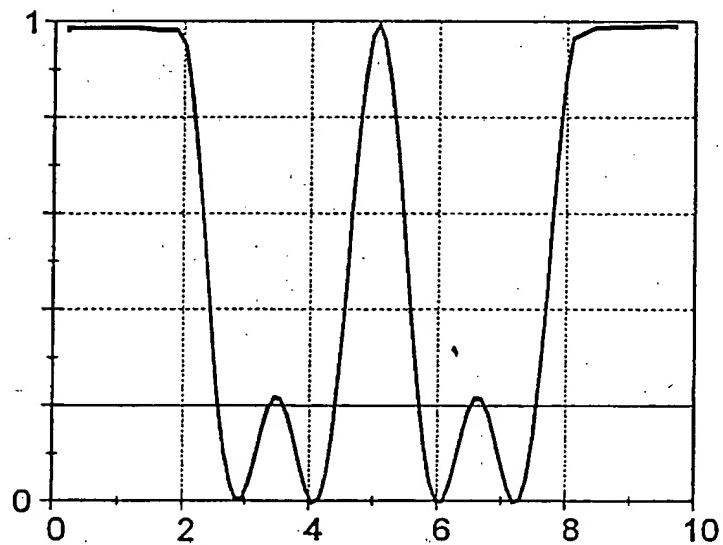
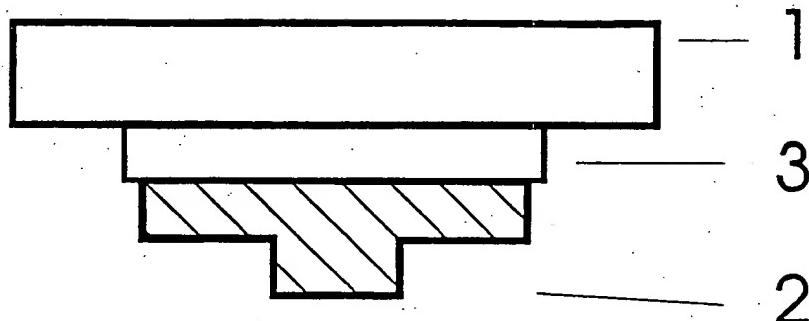


Fig. 6



Fig. 7



E

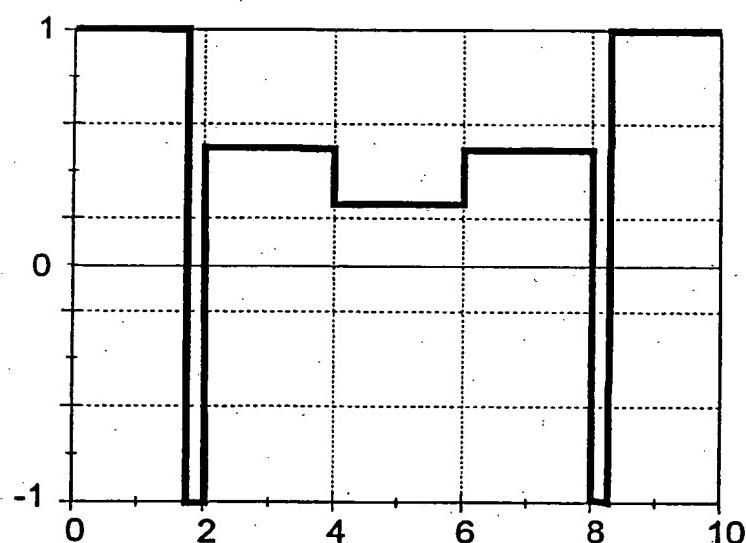


Fig. 8

I

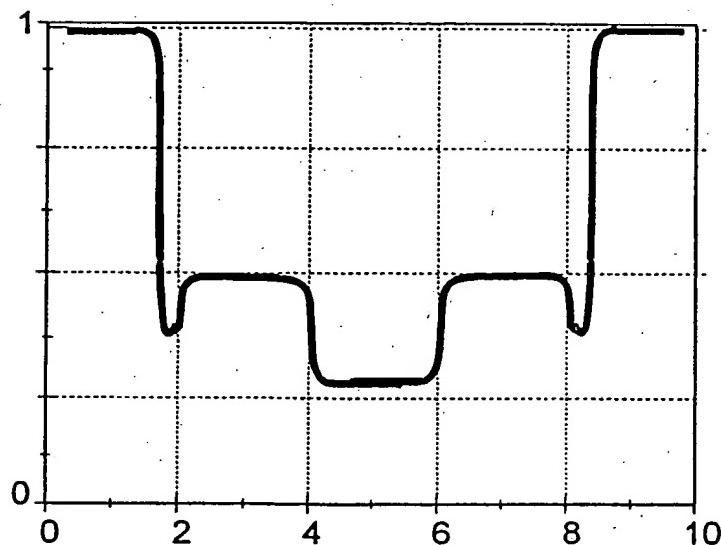
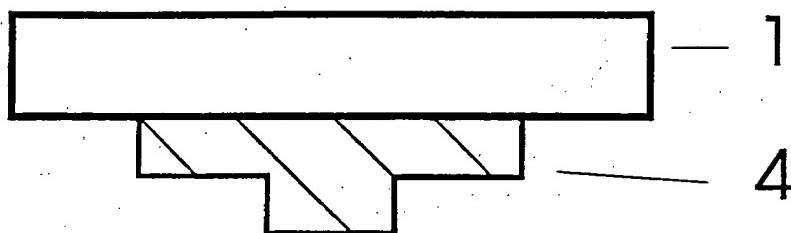


Fig. 9

λ_a ↴ ↴ λ_t

Fig. 10



E

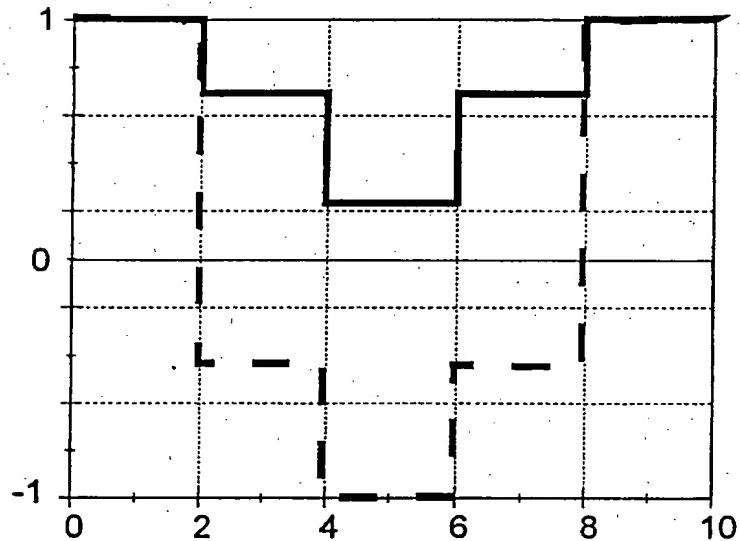


Fig. 11

I

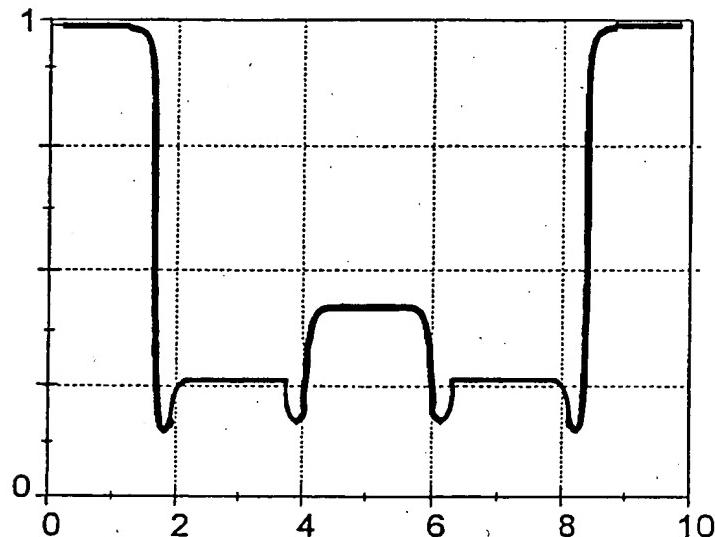


Fig. 12

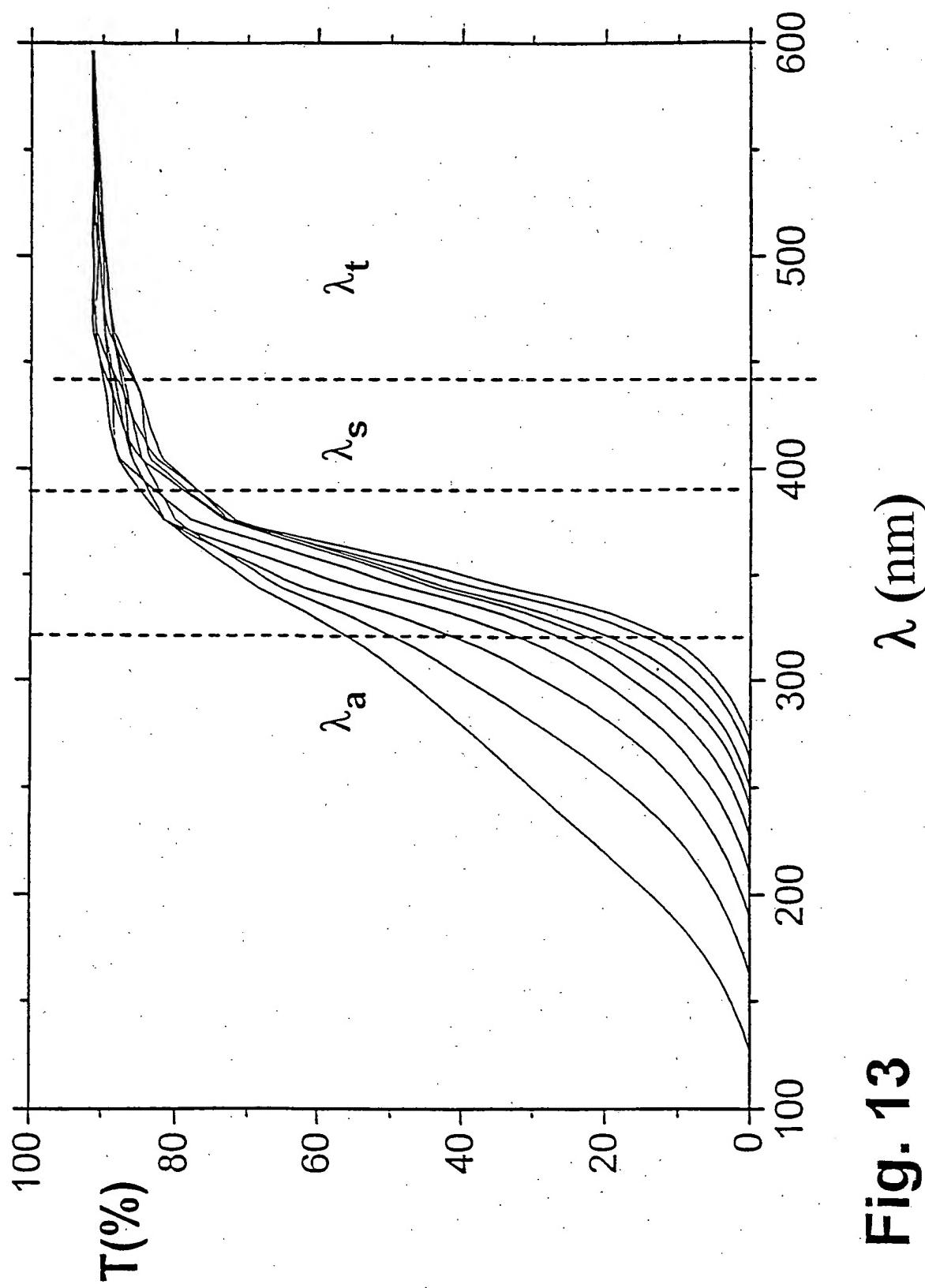


Fig. 13

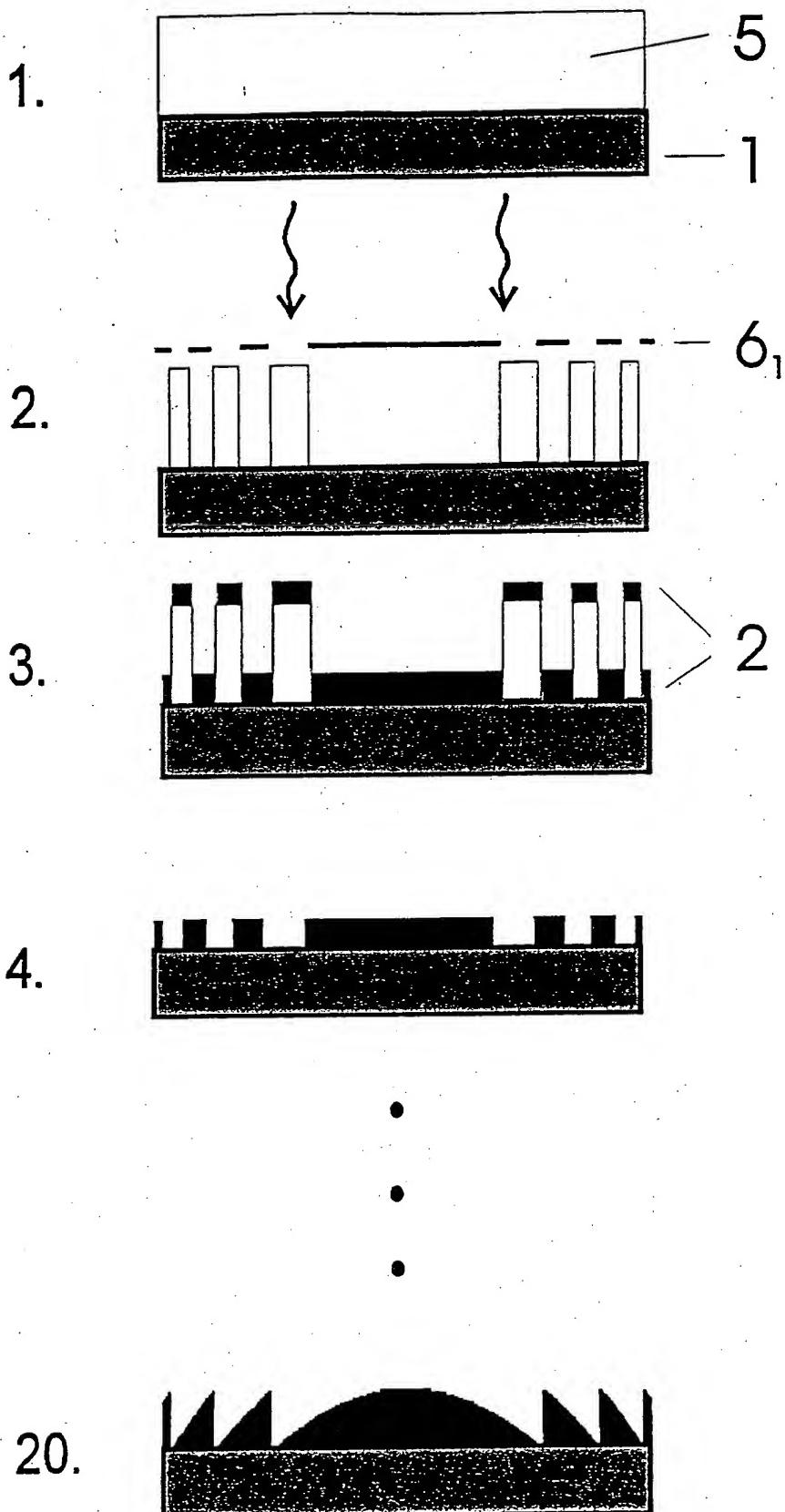


Fig. 14